

УДК 658.24

А.А.АЛЕКСАХИН, канд. техн. наук, М.С.ЛОЖКИНА

*Харьковская национальная академия городского хозяйства*

В.М.КОШЕЛЬНИК, д-р техн. наук, С.В.ЕНА

*Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт»*

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ РАБОТЫ ВОДОНАГРЕВАТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ С УЧЕТОМ ОСТЫВАНИЯ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ В МИКРОРАЙОННЫХ СЕТЯХ**

Получено решение системы уравнений теплового баланса для двухступенчатой смешанной схемы присоединения подогревательной установки горячего водоснабжения с учетом теплотерь подающими и обратными трубопроводами микрорайонной системы отопления. Выполнена оценка изменения расхода греющего теплоносителя через установку.

Сложившиеся в условиях централизованной выработки и распределения тепловой энергии схемы теплоснабжения жилых микрорайонов подразумевают наличие общей для группы зданий водонагревательной установки горячего водоснабжения, устанавливаемой на центральном тепловом пункте (ЦТП) микрорайона [1]. С помощью применяемого в схемах ЦТП оборудования поддерживают необходимые для горячего водоснабжения и отопления параметры воды и теплоносителя, которые транспортируются к зданиям по специальным микрорайонным сетям. При использовании двухступенчатых схем водонагревательных установок горячего водоснабжения (ВНУ) [2, 3] потери теплоты трубопроводами микрорайонной системы отопления отражаются не только на условиях работы отопительного комплекса зданий, но и на режимах работы теплообменных аппаратов водонагревательной установки, обуславливая необходимость увеличения расхода греющего теплоносителя из тепловой сети.

Известные решения [2-4] системы уравнений теплового баланса для двухступенчатой смешанной схемы ВНУ и отопительного комплекса зданий получены в предположении, что температура теплоносителя на входе в теплообменные аппараты первой и второй ступеней ВНУ соответствуют температурному графику тепловых сетей. Это допущение не отражает реальные условия работы тепловых сетей, т.е. решения получены без учета теплотерь в магистральных и микрорайонных сетях. Следует отметить, что, как показано в работах [5, 6], остывание теплоносителя в сетях, особенно в трубопроводах подающей части, может быть достаточно ощутимым, что приводит к значительным погрешностям при проведении расчетов.

Целью настоящей работы является оценка влияния тепловых потерь подающими и обратными трубопроводами внутриквартальных

сетей отопления на величину расхода теплоносителя через теплообменники ВНУ при двухступенчатой смешанной схеме (рис.1).

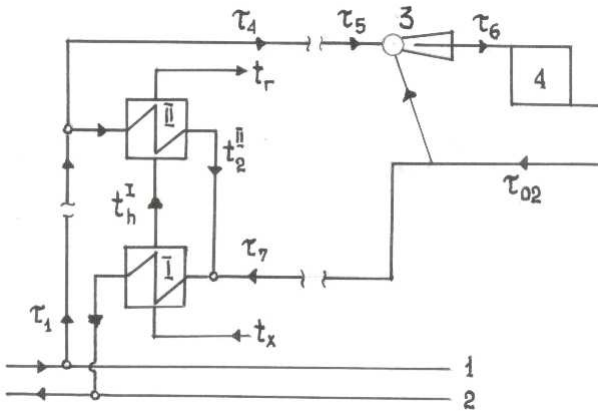


Рис.1 – Двухступенчатая смешанная схема присоединения водоподогревательной установки:

1, 2 – подающий и обратный трубопроводы теплосети; 3 – водоструйный элеватор; 4 – система отопления; I и II – первая и вторая ступени водоподогревательной установки.

К использованной в [4] системе уравнений добавлены полученные в [5, 6] расчетные зависимости, описывающие изменение температуры теплоносителя по длине подающих и обратных трубопроводов тепловых сетей, в соответствии с которыми температуры теплоносителя на входе в систему отопления здания из подающего трубопровода микрорайонных сетей и на входе в теплообменники первой ступени ВНУ из обратного трубопровода отопительной сети соответственно равны:

$$\tau_5 = t_{окр} + (\tau_4 - t_{окр}) \times \psi_1,$$

$$\psi_1 = \left( 1 - \frac{G_n}{G_{max}} \times \frac{x}{L} \right)^A, \quad A = \frac{q_1' \times L}{\Delta t \times c \times G_n}; \quad (1)$$

$$\tau_7 = \tau_{02} + \psi_2,$$

$$\psi_2 = \frac{\frac{n \times a}{n + m} \times \left( \frac{x_1}{L} \right)^{n+m} - \frac{q_2 \times x_1}{c \times G_n}}{\frac{G_{mp}}{G_n} + \left( \frac{x_1}{L} \right)^n}, \quad (2)$$

где  $t_{окр}$  – температура окружающей среды для соответствующего способа прокладки трубопроводов сетей;  $L$  – длина трубопровода на главном направлении;  $G_n$  – общий расход через ответвления;  $G_{mp}$  – расход в начальном сечении обратного трубопровода сети;  $G_{max}$  – расход в начальном сечении подающего трубопровода;  $q'_1$  и  $q_2$  – удельные теплотери соответственно подающими и обратными трубопроводами сети;  $x, x_1$  – текущая координата по длине подающего и обратного трубопровода;  $\tau_{02}$  – температура теплоносителя после отопительного комплекса, которая в условиях возможного изменения расчетной отопительной нагрузки определяется зависимостью

$$\tau_{02} = \tau_5 - \mu \times \bar{Q}_0 \times \frac{\Delta \tau_c^p}{\beta}, \quad (3)$$

$$\bar{Q}_0 = \frac{Q_0}{Q_{o.p.}} = \frac{t_e - t_n}{t_e - t_{p.0}}.$$

Здесь  $\Delta \tau_c^p = \tau_1^p - \tau_2^p$  – расчетная разность температур теплоносителя в тепловой сети;  $\mu$  – коэффициент для учета снижения расчетной отопительной нагрузки;  $\beta$  – коэффициент, учитывающий изменение расхода теплоносителя через систему отопления при снижении расчетной отопительной нагрузки;  $Q_0, Q_{o.p.}$  – отопительная нагрузка при текущей ( $t_n$ ) и расчетной для отопления температуре наружного воздуха.

Решение указанной системы уравнений выполнено относительно расхода теплоносителя через вторую ступень водоподогревательной установки ( $\bar{W}_2 = \frac{W_2}{W_{o.p.}}$ ,  $W_{o.p.}$  – тепловой эквивалент расчетного отопительного расхода). Поскольку решение в общем виде достаточно громоздко, представляется целесообразным выделить отдельные решения в зависимости от соотношения тепловых эквивалентов расходов сред на каждой из ступеней ВНУ. Полученные уравнения представлены в таблице.

В приведенных в таблице формулах приняты следующие обозначения:  $\gamma = \frac{\rho \Delta \tau_c^p}{\Delta t_e}$ ;  $\rho = \frac{Q_h}{Q_{o.p.}}$  – отношение нагрузки горячего водоснабжения к расчетной отопительной нагрузке;  $\Delta t_e = t_e - t_x$ ;  $t_e, t_x$  –

температуры горячей и холодной воды;  $W_{1,м}$ ,  $W_{2,м}$  – меньший из эквивалентов расходов сред на первой и второй ступенях соответственно;  $W_h$  – тепловой эквивалент расхода нагреваемой воды;  $\varepsilon_1$ ,  $\varepsilon_2$  – относительная удельная теплопроизводительность ступеней ВНУ.

Расчетные зависимости для нахождения расхода теплоносителя через вторую ступень ВНУ при смешанной схеме присоединения

Условия применения	Зависимость	№ формулы
$W_{1,м} = W_h$ $W_{2,м} = W_h$	$\bar{W}_2 = \frac{\beta[\tau_4(\varepsilon_2 + z_1 \times \psi_1) - t_x(\varepsilon_2 + z_1) - \Delta t_e + z_2] - z_3 - z_4}{\Delta t_e - (\varepsilon_2 + z_1)(\tau_4 - t_x)},$ $z_1 = \varepsilon_1(1 - \varepsilon_2); z_2 = z_1[t_{окр}(1 - \psi_1) + \psi_2];$ $z_3 = \varepsilon_1 \varepsilon_2 \gamma(\tau_4 - t_e); z_5 = \mu \times \bar{Q}_o \times \Delta \tau_e^p;$ $z_4 = z_5 \times z_1$	(4)
$W_{1,м} = W_h$ $W_{2,м} = W_2$	$a_3 \times \bar{W}_2^2 + b_3 \times \bar{W}_2 + c_3 = 0,$ $a_3 = \varepsilon_2(1 - \varepsilon_1)(\tau_4 - t_x);$ $b_3 = (\varepsilon_2 \beta + \varepsilon_1 \gamma) - z_3 - \gamma \Delta t_e - \varepsilon_1 \varepsilon_2 \beta(\tau_4 + z_6);$ $c_3 = \gamma \beta \varepsilon_1(\tau_4 \psi_1 + z_6) - \gamma \Delta t_e;$ $z_6 = t_{окр}(1 - \psi_1) + \psi_2 - t_x - \frac{z_5}{\beta}$	(5)
$W_{1,м} = W_1$ $W_{2,м} = W_h$	$\bar{W}_2 = \frac{\gamma(1 - \varepsilon_1 \varepsilon_2) \Delta t_e - \tau_4(\gamma z_7 + \psi_1 \beta z_1) - z_1 \beta z_6 + t_x \gamma z_7}{z_1 \beta(\tau_4 - t_x)},$ $z_7 = \varepsilon_2(1 - \varepsilon_1)$	(6)
$W_{1,м} = W_1$ $W_{2,м} = W_2$	$a_4 \times \bar{W}_2^2 + b_4 \times \bar{W}_2 + c_4 = 0,$ $a_4 = -\frac{\varepsilon_1 \varepsilon_2 \beta(\tau_4 - t_x)}{\gamma};$ $b_4 = (\varepsilon_1 + \varepsilon_2)(\tau_4 - t_x) - \varepsilon_1 \varepsilon_2(\tau_4 - t_e) - \frac{\varepsilon_1 \varepsilon_2 \beta}{\gamma}(\tau_4 \psi_1 + z_6);$ $c_4 = \varepsilon_1(\tau_4 \psi_1 + z_6) - \frac{\gamma \Delta t_e}{\beta}$	(7)

При отсутствии теплопотерь трубопроводами микрорайонной отопительной системы, т.е.  $\psi_1 = 1$ ,  $\psi_2 = 0$ ,  $\tau_4 = \tau_1$  уравнения (4), (5) совпадают с приведенными в [4] расчетными зависимостями.

Для двухступенчатой смешанной схемы присоединения ВНУ к тепловым сетям случай, когда  $W_{1,м} = W_h$  представляется более вероятным. При температурах наружного воздуха, близких к значению в «точке излома графика температур», на второй ступени водоподогревательной установки с большей степенью вероятности возможен такой режим, при котором  $W_{2,м} = W_h$ , при расчетной для отопления температуре наружного воздуха – режим, при котором  $W_{2,м} = W_2$ . Поэтому для оценок изменения расхода в первом случае использована зависимость (4), во втором – (5). Анализ зависимостей показывает, что наличие теплопотерь трубопроводами микрорайонной отопительной сети приводит к необходимости увеличения расхода греющего теплоносителя через вторую ступень ориентировочно на 18%. В перерасчете на общий расход сетевой воды для теплоснабжения микрорайона (отопление плюс горячее водоснабжение) увеличение требуемого расхода составит около 12%. Оценка влияния теплопотерь выполнена для климатических условий г.Харькова, соотношения максимальных расходов теплоты на горячее водоснабжение и отопление, равном 0,6, при  $\mu = \beta = 1$ , для значений температуры наружного воздуха в «точке излома графика температур»  $3,5^{\circ}\text{C}$  и расчетной для системы отопления –  $23^{\circ}\text{C}$ . Температуры в подающем и обратном трубопроводах теплосети приняты в первом случае соответственно  $77^{\circ}\text{C}$  и  $42^{\circ}\text{C}$ , во втором –  $150^{\circ}\text{C}$  и  $70^{\circ}\text{C}$ . Расчеты проведены для подземной прокладки теплопроводов при температуре грунта на оси трубопровода  $5^{\circ}\text{C}$ . Теплопотери трубопроводами сети приняты в соответствии с [7].

Приведенные оценки выполнены при значительном числе допущений, поскольку режимные показатели водонагревательной установки и величина теплопотерь определяется большим набором параметров системы теплоснабжения, значительная часть которых является индивидуальными характеристиками микрорайонных систем. Более точно расход через вторую ступень ВНУ можно определить, используя данные для конкретных микрорайонов.

В качестве примера на рис.2 приведены результаты расчетов расхода сетевой воды через вторую ступень ВНУ для условий теплоснабжения приведенного в [5] жилого микрорайона. Выполненные нами расчеты показали, что теплопотери обратным трубопроводом практически не влияют на величину расхода через вторую ступень. Отклонение расхода от значения при отсутствии теплопотерь ( $q_2 = 0$ ) даже при двукратном превышении нормативных теплопотерь находится в

пределах точности вычислений. Наличие тепловых потерь подающими трубопроводами на уровне нормативных значений приводит к росту расхода через вторую ступень на 2,7% при температуре наружного воздуха в «точке излома графика температур» и примерно на 8,8% при расчетной для отопления температуре наружного воздуха. Для компенсации теплопотерь и подающими, и обратными трубопроводами отопительной сети указанный расход должен быть увеличен на 3,5% для первой характерной температуры наружного воздуха и на 10% для второй.

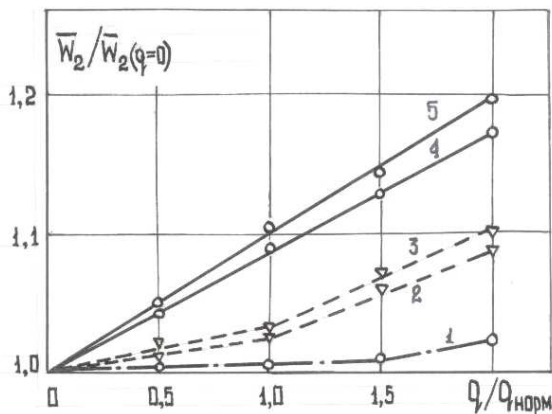


Рис.2 – Изменение расхода сетевой воды через вторую ступень водоподогревательной установки:

1 – при учете теплопотерь обратными трубопроводами; 2, 4 – при учете теплопотерь подающими трубопроводами; 3, 5 – при учете теплопотерь подающими и обратными трубопроводами; 2, 3 – при температуре наружного воздуха в «точке излома графика температур»; 4, 5 – при расчетной для отопления температуре наружного воздуха.

### *Выводы*

1. Разработана методика расчета двухступенчатой смешанной схемы присоединения подогревательной установки горячего водоснабжения с учетом теплопотерь подающими и обратными трубопроводами микрорайонной системы отопления.

2. Получены расчетные зависимости для нахождения расхода теплоносителя через вторую ступень ВНУ при смешанной схеме присоединения.

3. Приведены результаты практических расчетов изменения расхода греющего теплоносителя через установку.

1.Шубин Е.П. Основные вопросы проектирования систем теплоснабжения городов. – М.: Энергия, 1979. – 360 с.

2. Теплоснабжение / А.А.Ионин, Б.М.Хлыбов, В.Н.Братенков и др. – М.: Стройиздат, 1982. – 336 с.
  3. Повышение эффективности работы систем горячего водоснабжения / Н.Н.Чистяков, М.М.Грудзинский, В.И.Ливчак и др. – М.: Стройиздат, 1982. – 314 с.
  4. Алексахин О.О. Визначення показників роботи водопідігрівної установки гарячого водопостачання в умовах зміни розрахункового опалювального навантаження // Теплоенергетичні установки та екологія на залізничному транспорті: Міжвуз. зб. наук. праць. Вип.70. – Харків: УкрДАЗТ, 2005. – С.123-131.
  5. Алексахин А.А. Определение охлаждения теплоносителя в трубопроводах тепловых сетей // Коммунальное хозяйство городов: Науч.-техн. сб. Вип.74. – К.: Техніка, 2006. – С.349-355.
  6. Алексахин А.А., Углов В.И. Оценка точности расчетного определения температуры теплоносителя в обратном трубопроводе тепловых сетей // Коммунальное хозяйство городов: Науч.-техн. сб. Вип.79. – К.: Техніка, 2007. – С. 251-254.
  7. Тепловая изоляция / Под ред. Г.Ф.Кузнецова. – М.: Стройиздат, 1995 – 421 с.
- Получено 28.01.2008*

УДК 621.16

Г.А.ЛЕЩИНСКИЙ, А.Р.КОРСУНОВ, кандидаты техн. наук  
*Украинская инженерно-педагогическая академия, г.Харьков*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ НЕСТАЦИОНАРНОГО СВЕРХЗВУКОВОГО ТЕЧЕНИЯ В ТРУБОПРОВОДЕ АВАРИЙНОГО СБРОСА ПАРА В КОНДЕНСАТОР ТУРБИНЫ**

Приведена методика снижения вибрации трубопровода обеспаривания линии промежуточного перегрева пара при аварийной остановке турбины.

При эксплуатации турбоблоков на ряде электростанций была обнаружена существенная вибрация сбросных трубопроводов линии промежуточного перегрева пара, возникающая при открытии клапанов сброса. Вибрация вызывалась большими динамическими усилиями, обусловленными нестационарным движением пара в сбросном трубопроводе.

Определение указанных усилий требует знания газодинамических параметров потока, зависящих от времени и координаты, отсчитываемой по длине трубопровода. Распределение скоростей, давлений, температур и плотностей потока отыскивалось численным решением системы, включающей уравнения сохранения массы, количества движения и энергии перегретого пара, уравнение состояния, также уравнения переноса тепла в стенку трубы и ее изоляцию. Уравнения приводились к характеристическому виду и решались методом матричной прогонки.

Теоретической основой для этой работы послужили газотермодинамические уравнения движения потоков однофазной среды в разветвленных трубопроводах, приведенные в [1].